Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 2, Summer 2022, p. 137-146

The Effect of Nitrogen Fertilizer and Nitrogen Splitting on Yield and Nitrate Content of Potato Tubers

A. H. Jalali[1*]

Received: 10-07-2021 Revised: 14-01-2022 Accepted: 31-01-2022	**How to cite this article:** Jalali, A. H. 2022. The Effect of Nitrogen Fertilizer and Nitrogen Splitting on Yield and Nitrate Content of Potato Tubers. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 137-146. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/jcesc.2022.71392.1065.

Introduction

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is an annual and autotetraploid plant of the Solanaceae family that uses its underground tuber. In 2019, among West Asian countries, Turkey and Azerbaijan had a higher level of potato cultivation than Iran. Nitrogen consumption management in potato cultivation is one of the factors affecting the quantitative and qualitative characteristics of the tuber yield produced. Some researchers consider potato yield it consists of three components the number of stems per square meter, the number of tubers per stem, and the weight of tubers per plant. One of the problems with the overuse of nitrogen fertilizers is the accumulation of nitrate in the tubers. The amount of nitrate allowed depends on the diet of the person. Some studies show that from 93 mg per day of nitrate consumed per day for an adult, 33% to potatoes, 21% to green leafy vegetables, 15% to other vegetables, 8.5% to beverages, 4.2% to Meat products account for 2.1% to various grains, 1.6% to bread and 5.1% to other items.

Materials and Methods

The present study conducted in 2018-2019 in Kabootarabad Agricultural Research Station of Isfahan. The effect of N application and nitrogen splitting on the tuber yield and nitrate accumulation of potato tubers in this study investigated. For this purpose, the split plots tested in a randomized complete block design with three replications in which three nitrogen levels (90, 180 and 270 kg ha^{-1}) of the main plots and two nitrogen splitting methods (three and four stages) formed the sub-plots. At harvest time, two meters of the middle rows of each plot used to estimate the yield. Tubers with less than 35 mm in diameter considered non-marketable yield. To measure tuber nitrate, the prepared samples placed in paper bags and sent to the laboratory of Soil and Water Research Department of Isfahan Agricultural Research Center. After washing, the samples grated and after drying in an oven (temperature 65 °C) and grinding in a shaker (shaker), the amount of nitrate determined by spectrophotometry. All soil and plant tests performed in the laboratory. SAS software used to analyze the data and Duncan's multiple range test (at 5% probability level) used to compare the means.

Results and Discussion

The effect of nitrogen interaction and its splitting on total yield and efficiency of nitrogen utilization at the level of one per cent and on the characteristics of marketable yield, non-marketable yield, tuber nitrate, number and weight of tubers at the level of five per cent was significant. With the consumption of 180 and 270 kg N ha^{-1} by the four-step splitting method, the non-marketable yield was equal to 11.2 and 14.43% of the total tuber yield, respectively. With the consumption of 270 kg N ha^{-1} and three stages of nitrogen splitting, the amount of nitrate in the tuber reached 197 mg kg^{-1} of fresh weight of the tuber. In both three- and four-stage nitrogen splitting methods, nitrogen application efficiency reduced to one third by consuming 270 kg N ha^{-1} compared to 90 kg N ha^{-1} treatment. Therefore, the use of nitrogen fertilizers in excess of the recommended amounts can, in addition to economic losses, be associated with a decrease in fertilizer use efficiency and an increase in tuber nitrate beyond the allowable limit.

1- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: jalali51@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.71392.1065

Conclusion

The results showed that nitrogen splitting is a correct management approach when it recommended based on the amount of nitrogen consumption (in this study 180 kg ha^{-1}). The use of excess nitrogen, even in splitting, not only did not increase economic yield but in some treatments (three-stage splitting of 270 kg N ha^{-1}) was associated with an increase in tuber nitrate beyond the allowable limit (170 mg kg^{-1} tuber fresh weight). In the amount of nitrogen application more than the recommended fertilizer, in both methods of nitrogen splitting, the efficiency of fertilizer application decreased. So that in the treatment of 270 kg N ha^{-1} compared to the treatment of 90 kg N ha^{-1}, the efficiency of fertilizer application reached one third.

Keywords: Marketable yield, Nitrogen use efficiency, Tuber number, Tuber weight

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۱، ص ۱٤٦-۱۳۷

تأثیر مقدار و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد و مقدار نیترات غده سیب‌زمینی رقم مارفونا

امیرهوشنگ جلالی[1]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

چکیده

پژوهش حاضر در سال ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان به‌منظور بررسی تأثیر مقدار و نحوه تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد و تجمع نیترات غده سیب‌زمینی رقم مارفونا انجام شد. به این منظور از آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد که در آن سه سطح نیتروژن (۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار) کرت‌های اصلی و دو نحوه تقسیط نیتروژن (سه و چهار مرحله‌ای) کرت‌های فرعی را تشکیل دادند. نتایج نشان داد تأثیر برهمکنش مقدار نیتروژن و تقسیط آن بر صفات عملکرد کل و کارایی استفاده از نیتروژن در سطح یک درصد و بر صفات عملکرد قابل فروش، عملکرد غیرقابل فروش، نیترات غده، تعداد و وزن غده‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در روش تقسیط سه مرحله‌ای تعداد غده در هر بوته با استفاده از ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب برابر ۳/۹۱، ۵/۲۸ و ۶/۵۸ عدد بود. با مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و سه مرحله تقسیط نیتروژن، مقدار نیترات غده به ۱۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن‌تر غده رسید. در هر دو روش تقسیط سه و چهار مرحله ای نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن با مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به یک سوم کاهش یافت؛ بنابراین مصرف کودهای نیتروژن دار بیش از ۱۸۰ کیلوگرم (حد توصیه‌شده) حتی به‌صورت تقسیط‌شده می‌تواند با کاهش کارایی مصرف کود و افزایش نیترات غده‌ها به مقادیر فراتر از حد مجاز همراه باشد.

واژه‌های کلیدی: تعداد غده، کارایی مصرف نیتروژن، عملکرد قابل‌فروش، وزن غده

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) گیاهی یک‌ساله و اتوتتراپلوئید از خانواده سولاناسه است که از غده زیرزمینی آن استفاده می‌شود (Bélanger *et al*., 2001). در سال ۱۳۹۸ سطح زیر کشت سیب‌زمینی در ایران معادل ۱۰۴ هزار هکتار با متوسط عملکرد ۳۳/۴۳ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2019). این مقدار سطح زیر کشت نسبت به سال ۱۳۹۷، ۳۶/۷ درصد کاهش نشان می‌دهد که دلیل عمده آن ریشه در وقوع خشکسالی‌های اخیر در ایران دارد (Jalali and Mousapour Gorji, 2021).

مدیریت مصرف نیتروژن در زراعت سیب‌زمینی ازجمله عوامل تأثیرگذار بر ویژگی‌های کمی و کیفی محصول تولید شده است. برخی از محققین عملکرد سیب‌زمینی را شامل سه جزء می‌دانند که عبارتند از: تعداد ساقه در مترمربع، تعداد غده در ساقه و وزن غده‌ها در هر گیاه (Naumann *et al*., 2020). نیتروژن بیشترین تأثیر خود را بر جزء وزن غده‌ها دارد (De la Morena *et al*., 1994). به‌طورمعمول در ۵-۴ هفته اول رشد سیب‌زمینی نیاز به نیتروژن خیلی زیاد نیست. پس‌ازاین مرحله گیاه وارد مرحله توسعه رشد اندام‌های هوایی می شود و حدود ۸۳-۶۱ درصد نیتروژن موردنیاز گیاه در این مرحله جذب می‌شود (Souza *et al*., 2020). در اواخر دوره رشد (غده‌دهی) نیز نیتروژن اضافی می تواند رشد اندام‌های رویشی را تحریک کند و علاوه بر آن بر درصد ماده خشک غده نیز تأثیر منفی داشته باشد (Jalali *et al*., 2020). در پژوهشی مصرف ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن و تقسیط نیتروژن در طی دوره رشد تیمار بهینه برای بالاترین مقدار عملکرد سیب‌زمینی معادل ۴۶ تن در هکتار گزارش شده است (Kuisma, 2002). در برخی از بررسی‌ها نشان داده‌شده است که استفاده از کود اوره برای زراعت سیب‌زمینی به‌صورت ۳۰ درصد در زمان کشت، ۳۵ درصد در زمان غده‌زایی و ۳۵ درصد در مرحله حجیم شدن غده‌ها بهترین میزان عملکرد و کمترین مقدار تجمع نیترات را در بر خواهد داشت (Jamshidi *et al*., 2015).

از مشکلات مصرف اضافی کودهای نیتروژنه، تجمع نیترات در

۱- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: jalali51@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.71392.1065

غده ها است. حد مجاز نیترات بستگی به رژیم غذایی مصرفی فرد دارد. برخی از پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد از ۹۳ میلی‌گرم در روز نیترات مصرفی برای یک فرد بالغ، ۳۳ درصد به سیب‌زمینی، ۲۱ درصد به سبزیجات برگی سبزرنگ، ۱۵ درصد به سایر سبزیجات، ۸/۵ درصد به نوشیدنی‌ها، ۴/۲ درصد به محصولات گوشتی، ۲/۱ درصد به غلات متفرقه، ۱/۶ درصد به نان و ۵/۱ درصد به سایر موارد اختصاص دارد (Ysart *et al.*, 1999). گروه غذایی اتحادیه اروپا مقدار قابل قبول جذب نیترات بر اساس وزن هر فرد را ۳/۶۵ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن اعلام نموده است (SCF, 1997). با توجه به مصرف سرانه سیب‌زمینی در کشور عدد ۲۰۰ میلی‌گرم نیترات در هر کیلوگرم وزن‌تر غده سیب‌زمینی به‌عنوان حد مجاز نیترات در برخی منابع مورد اشاره قرارگرفته ولی در استاندارد ملی ایران مقدار بیشینه مجاز برای محصول سیب‌زمینی ۱۷۰ میلی‌گرم نیترات در هر کیلوگرم وزن‌تر غده سیب‌زمینی عنوان‌شده است (National Standard of Iran, 2013). البته باید توجه داشت که دامنه تغییرات نیترات با توجه به شرایط محیطی می‌تواند از ۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن‌تر غده تا ۸۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن‌تر غده تغییر نماید (Naumann *et al.*, 2020). با توجه به اهمیت مصرف کود نیتروژن در زراعت سیب‌زمینی، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مقدار و دفعات تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد و تجمع نیترات غده سیب‌زمینی در شرایط آب و هوایی استان اصفهان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان واقع در ۲۵ کیلومتری شرق اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۴۵ متر اجرا گردید. بر اساس آمار ۲۰ ساله هواشناسی، متوسط بارندگی و دمای سالیانه این ایستگاه به‌ترتیب برابر ۱۱۰ میلی متر و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. ویژگی‌های خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

برای انجام پژوهش حاضر از آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. عامل اصلی شامل سه سطح نیتروژن (مقدار مصرف بر اساس توصیه آزمون خاک معادل ۹۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، مقدار مصرف دو برابر حد توصیه شده معادل ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و مقدار مصرف سه برابر حد توصیه شده معادل ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و عامل فرعی شامل دو سطح تقسیط نیتروژن (تقسیط سه مرحله‌ای شامل مراحل پس از سبز شدن (خاک‌دهی پای بوته)، مرحله غده‌دهی و مرحله حجیم شدن غده‌ها و تقسیط چهار مرحله‌ای مشابه تقسیط سه مرحله‌ای با این تفاوت که در مرحله حجیم شدن غده‌ها دو نوبت کود با فاصله ۱۴ روز اضافه شد) بودند. مقادیر مصرف برای هر یک از مراحل مساوی و از منبع اوره انتخاب شد. تیمارهای نیتروژن در نظر گرفته‌شده با توجه به مقادیر مصرف کشاورزان لحاظ گردید. رقم کشت شده رقم مارفونا با تراکم ۵۴ هزار بوته در هکتار (فواصل بین و روی ردیف به‌ترتیب ۷۵ و ۲۵ سانتی‌متر) بود. رقم مارفونا رقمی زودرس محسوب می‌شود و برای کشت در مناطقی با طول دوره رشد محدود مناسب است (Hassanpanah *et al.*, 2018). کود فسفات (به‌صورت سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (به‌صورت اکسید پتاسیم) به‌ترتیب به مقدار ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بر اساس آزمون خاک قبل از کشت استفاده گردید. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف به طول چهار متر با مساحت ۱۲ متر مربع بود. پس از آماده سازی زمین و فراهم شدن شرایط محیطی در تاریخ ۲ اسفندماه اقدام به کاشت غده های کامل (۶۰ و ۷۰ گرمی) سیب زمینی از پیش جوانه زده و ضدعفونی شده با قارچ کش بنومیل گردید. کاشت به‌صورت دستی و در عمق ۱۵ سانتی‌متری انجام شد. آبیاری زمین پس از سبز شدن محصول بر اساس تخلیه ۵۰ درصد از رطوبت ظرفیت مزرعه در عمق نفوذ ریشه انجام شد. آبیاری به‌وسیله لوله‌های پولیکای خمیده و از طریق یک جوی اصلی صورت پذیرفت به‌گونه‌ای که هر کرت آزمایشی به صورت جداگانه آب دریافت کرده و از راه یابی آب هر کرت به کرت‌های مجاور جلوگیری به عمل آید.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (mg kg^{-1})	فسفر Phosphor (mg kg^{-1})	مواد آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0.06	320	13	0.32	7.8	3.8	48.0	40.0	11.0

ده روز قبل از تاریخ برداشت، عملیات سرزنی اندام های هوایی جهت ضخیم شدن پوست غده و جلوگیری از صدمات هنگام برداشت انجام گردید. در زمان برداشت (۲۵ خرداد)، دو متر از ردیف‌های وسط هر کرت جهت برآورد عملکرد، تعداد غده و وزن غدها برداشت شد.

غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های غیرقابل فروش در نظر گرفته شد. برای محاسبه شاخص برداشت و کارایی مصرف نیتروژن (بر اساس عملکرد قابل‌فروش) از فرمول زیر استفاده شد (Jalali and Bahrani, 2014). البته این شاخص برخی اوقات عامل بهره‌وری جزئی[1] نامیده می‌شود (Bero *et al*., 2014)

نیتروژن مصرفی (کیلوگرم)/عملکرد غده (کیلوگرم)= کارایی مصرف نیتروژن

برای اندازه‌گیری نیترات غده‌ها نمونه‌های تهیه شده در پاکت‌های کاغذی قرار گرفت و به آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان انتقال داده شد. نمونه‌ها پس از شستشو، رنده شده و در آون (دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) خشک شدند. نمونه‌ها پس از خروج از آون آسیاب شده و در دستگاه شیکر قرار گرفتند. مقدار نیترات نمونه‌ها از طریق روش اسپکتروفتومتری (طیف‌سنجی) تعیین شد (Green *et al*., 1982). این روش بر اساس تابش نور با طول موج مناسب به درون محلول مورد نظر و سنجش طیف‌های نوری عمل می‌کند. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) (SAS Institute, 2016) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. تأثیر عامل مقدار نیتروژن بر عملکرد کل، عملکرد قابل‌فروش، عملکرد غیرقابل فروش، تعداد غده در بوته و کارایی استفاده از نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و بر وزن غده و تجمع نیترات در غده‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. تأثیر تقسیط نیتروژن نیز بر عملکرد غیرقابل فروش و کارایی استفاده از نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. تأثیر برهمکنش عوامل مقدار نیتروژن و تقسیط نیتروژن بر صفات عملکرد کل و کارایی استفاده از نیتروژن در سطح یک درصد و بر صفات عملکرد قابل‌فروش، عملکرد غیرقابل فروش، نیترات غده، تعداد و وزن غده‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

تأثیر برهمکنش تیمارهای نیتروژن و تقسیط آن در شکل ۱ ارائه‌شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود عملکردهای قابل‌فروش در تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در هر دو حالت تقسیط سه و چهار مرحله‌ای به‌طور معنی‌دار بیش از تیمار مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود ولی با تیمار مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن (در هر دو حالت تقسیط سه و چهار مرحله‌ای) تفاوت معنی‌داری نداشت. عملکرد قابل‌فروش در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در تیمارهای تقسیط سه و چهار مرحله‌ای به‌ترتیب برابر ۳۹/۴۲ و ۳۸/۷۸ تن در هکتار بود. نکته قابل‌توجه این‌که در هر دو روش تقسیط با افزایش مصرف نیتروژن از ۹۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد غیرقابل فروش نیز افزایش معنی‌دار داشت (شکل ۱). به عبارت ساده با وجود این‌که عملکرد کل (جمع عملکرد قابل فروش و غیرقابل فروش) در تیمار سه و چهار مرحله‌ای تقسیط نیتروژن در تیمار ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن به‌ترتیب برابر ۳۷ و ۴۰ تن در هکتار بود، به‌ترتیب ۶/۲۱ و ۱۱/۱۲ درصد از این عملکرد غده‌های کوچک غیرقابل فروش هستند. در تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در حالت‌های تقسیط سه و چهار مرحله‌ای عملکرد غیرقابل فروش به‌ترتیب برابر ۹/۵۲ و ۱۴/۴۳ درصد از عملکرد بود. علاوه بر این تقسیط سه و چهار مرحله‌ای نیتروژن تفاوت معنی‌داری در عملکرد قابل‌فروش هیچ‌یک از مقادیر مصرف نیتروژن ایجاد نکرد. مقدار و نحوه مصرف کودهای نیتروژن‌دار و همچنین رقم زراعی استفاده‌شده تأثیر زیادی بر عملکرد قابل‌فروش دارد (Venkatasalam *et al*., 2019). در مورد سیب‌زمینی مصرف نیتروژن کافی برای دستیابی به عملکرد بهینه در پژوهش‌های مختلف مورد تأکید قرارگرفته است (Kuisma, 2002)، با این‌وجود برای اکثر ارقام، بیشینه نیاز نیتروژن در فاصله زمانی ۴۸ تا ۶۶ روز پس از کشت اتفاق افتاده و در این زمان ۸۳-۶۱ درصد از کل نیاز گیاه به نیتروژن جذب می‌شود (Souza *et al*., 2020). در برخی از پژوهش‌ها دامنه‌ی بهینه مصرف نیتروژن برای گیاه سیب‌زمینی ۱۳۵-۹۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته‌شده و مقادیر بیش از آن موجب افت عملکرد و کاهش مقاومت به بیماری‌ها شده است (Jin *et al*., 2014). اگرچه تقسیط نیتروژن به‌عنوان یک رویکرد برای مدیریت بهینه نیتروژن مطرح است ولی تقسیط اضافی به‌ویژه در نیمه دوم دوره رشد سودی برای بهینه‌سازی عملکرد ندارد. چنین حالتی در پژوهش حاضر در تیمار تقسیط چهار مرحله‌ای قابل‌مشاهده است.

تعداد و وزن غده‌ها در بوته از جمله اجزای عملکرد هستند که تحت تأثیر مقدار و چگونگی تقسیط نیتروژن قرار گرفتند (شکل ۲). با افزایش نیتروژن از مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار، در هر دو روش تقسیط، به‌طور معنی‌دار تعداد غده‌ها افزایش و از وزن غده‌ها کاسته شد (شکل ۲). در روش تقسیط سه مرحله‌ای تعداد غده در هر بوته با استفاده از ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب برابر ۳/۹۱، ۵/۲۸ و ۶/۵۸ عدد بود. این اعداد برای روش تقسیط چهار مرحله‌ای به‌ترتیب برابر ۴/۲۲، ۵/۶ و ۶/۸۵ عدد بود.

1- Partial factor productivity

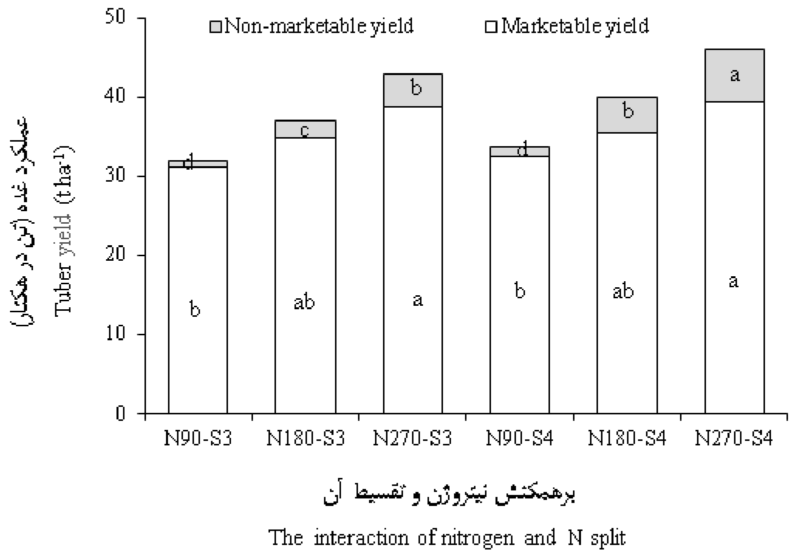
جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات مقدار نیتروژن و تقسیط آن بر عملکرد، اجزای عملکرد، تجمع نیترات غده، شاخص برداشت و کارایی استفاده از نیتروژن سیب‌زمینی

Table 2- Analysis of variance of nitrogen levels and nitrogen split effects on yield, yield components, tuber nitrogen concentration, and nitrogen use efficiency of potat

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares						
		عملکرد کل Total yield	عملکرد قابل‌فروش Marketable yield	عملکرد غیرقابل فروش Non-marketable yield	تعداد غده در بوته Tuber number plant^{-1}	وزن غده Tuber weight	تجمع نیترات غده Tuber nitrogen concentration	کارایی استفاده از نیتروژن N use efficiency
بلوک Block	2	0.610 $^{n.s}$	0.150 $^{n.s}$	0.178 $^{n.s}$	1.58 $^{n.s}$	1.090 $^{n.s}$	0.068 $^{n.s}$	0.120 $^{n.s}$
مقدار نیتروژن Nitrogen rate (N)	2	10.230 **	15.011**	6.430 **	5.790 **	4.675 *	0.980 *	3.980**
خطا a Error a	4	1.940	2.411	0.341	2.321	2.321	0.072	1.070
تقسیط نیتروژن Nitrogen Split (NS)	1	1.540 $^{n.s}$	24.031 $^{n.s}$	5.122 *	2.900 $^{n.s}$	3.567 $^{n.s}$	1.071 *	2.802*
مقدار نیتروژن× تقسیط نیتروژن (N × NS)	2	17.350**	45.870*	7.641 *	6.641 *	7.560 *	0.882 *	5.028**
خطا b Error b	6	1.980	25.380	4.052	4.670	4.670	0.321	1.002
ضریب تغییرات CV (%)		13.2	12.0	11.3	12.1	12.1	11.5	8. 0

ns و *، **: به‌ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: No difference, and significant difference at the 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات عملکرد قابل فروش و عملکرد غیرقابل فروش در سطوح مختلف نیتروژن و تقسیط آن

N90، N180 و N270 به‌ترتیب مصرف ۸۰، ۱۹۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار. S3 و S4 به‌ترتیب تقسیط سه و چهار مرحله‌ای.

ستون‌های هم‌رنگ با حروف مشابه تفاوت آماری ندارند (دانکن پنج درصد)

Figure 1- Mean comparison marketable yield and non-marketable yield at different levels of nitrogen and N split

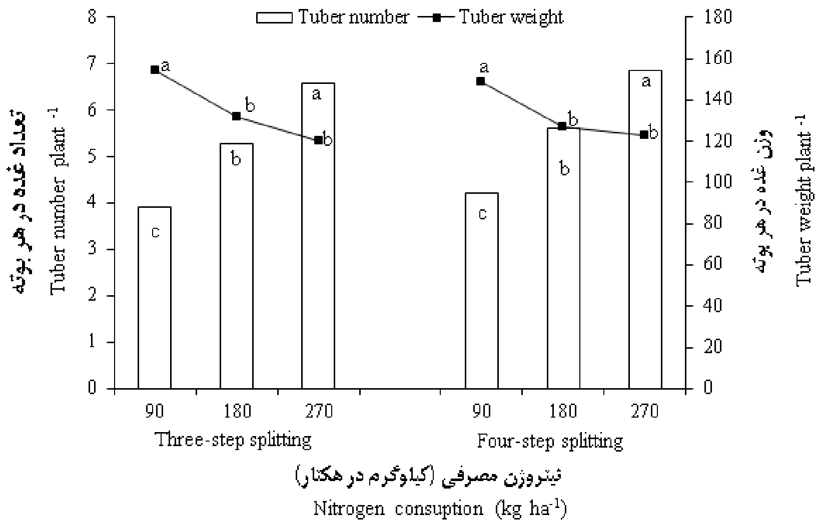
N90, N180 and N270, respectively, 80, 190 and 270 kg N ha^{-1}. S3 and S4 are three and four step N split, respectively.

Columns of the same color with similar letters are not statistically different (Duncan 5%)

بیشترین وزن غده‌ها در روش تقسیط سه مرحله‌ای مربوط به تیمار مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود و در تیمارهای ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب ۱۴/۳ و ۲۲ درصد از وزن غده‌ها کاسته شد (البته بین دو تیمار ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد). روند مشابهی از نظر تعداد و وزن غده‌ها در تیمار تقسیط چهار مرحله‌ای مشاهده شد.

اگرچه برخی از محققین معتقدند تأثیر اصلی نیتروژن بر عملکرد از طریق تأثیر آن بر وزن غده‌ها، درصد ماده خشک و مقدار قندهای موجود در سیب‌زمینی به وقوع می‌پیوندد اما برخی پژوهش‌ها نیز تأثیر نیتروژن بر عملکرد از طریق تأثیر نیتروژن بر تعداد غده در هر بوته را گزارش کرده‌اند (Muleta and Aga, 2019). به این نکته باید توجه داشت که سطح بهینه مصرف نیتروژن و تأثیر آن بر تعداد و وزن غده‌ها بسته به شرایط محیطی و وضعیت خاک متفاوت است. به‌عنوان‌مثال در پژوهشی در هند سطح بهینه مصرف نیتروژن ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد و با افزایش نیتروژن از صفرتا ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تعداد غده به‌طور معنی‌دار از ۳/۷ تا ۶/۸ عدد و وزن غده‌ها از ۱۹۱ تا ۳۷۰ گرم تغییر نمود و در مقادیر بیش از ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار وزن غده‌ها کاهش و تعداد غده‌ها ثابت باقی ماند (Ayyub *et al*., 2019). ثبات یا کاهش وزن غده‌ها در تیمارهای نیتروژن بیش‌ازحد بهینه به دلیل افزایش رشد اندام‌های هوایی (عمدتاً برگ‌ها) با هزینه کرد مواد فتوسنتزی است که می‌بایست صرف رشد غده‌ها گردد (Yadav *et al*., 2017).

افزایش نیترات غده‌های سیب‌زمینی یکی از مسائلی است که از جهت سلامت مصرف‌کننده حائز اهمیت است. در دو روش تقسیط نیتروژن، روش چهار مرحله‌ای باوجود تفاوت معنی‌دار بین مقادیر مختلف مصرف نیتروژن، مقدار نیترات غده‌ها کمتر از آستانه مجاز (۱۷۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن‌تر غده) بود (National Standard of Iran, 2013) (شکل ۳). در روش تقسیط سه مرحله‌ای با افزایش مقدار نیتروژن کاربردی از ۹۰ به ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم مقدار نیترات غده به‌ترتیب از ۱۳۰ به ۱۵۷ و ۱۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن‌تر غده رسید که در تیمار اخیر حدود ۱۶ درصد بیش از آستانه مجاز بود. دامنه تغییرات نیترات با توجه به شرایط محیطی می تواند از ۳۴ میلی گرم در کیلوگرم وزن‌تر غده تا ۸۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن‌تر غده تغییر نماید (Naumann *et al*., 2020). به همین دلیل در برخی پژوهش‌ها برای دستیابی به بیشینه عملکرد و کاهش مقدار تجمع نیترات غده، علاوه بر تعیین مقدار نیتروژن مصرفی، استفاده از کود اوره به‌صورت ۳۰ درصد در زمان کشت، ۳۵ درصد در زمان غده‌زایی و ۳۵ درصد در مرحله حجیم شدن غده‌ها توصیه‌شده است (Jamshidi *et al*., 2015).

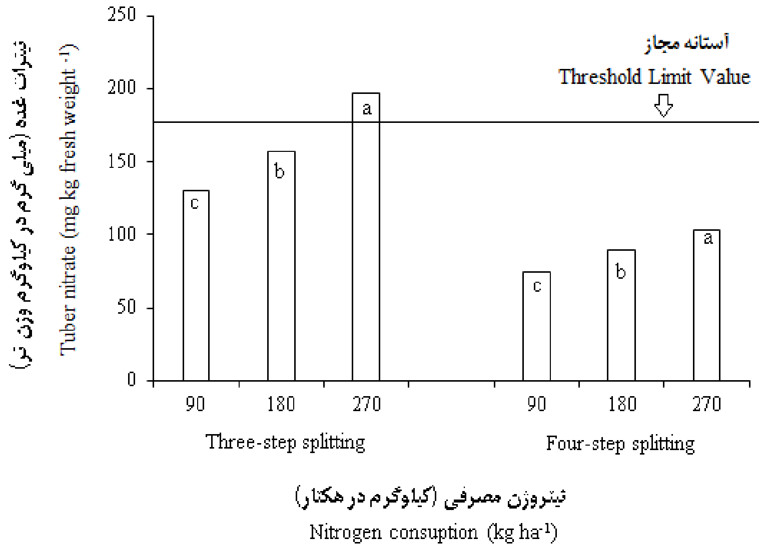


شکل ۲- تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و تقسیط نیتروژن بر تعداد و وزن غده سیب‌زمینی

در هر روش تقسیط حروف مشابه تفاوت آماری ندارند (دانکن پنج درصد)

Figure 2- The effect of different levels of nitrogen and N split on the number and weight of potato tubers

In each N split method, the same letters are not statistically different (Duncan 5%)



شکل ۳- تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و تقسیط نیتروژن بر مقدار نیترات غده سیب‌زمینی

در هر روش تقسیط حروف مشابه تفاوت آماری ندارند (دانکن پنج درصد)

Figure 3- The effect of different levels of nitrogen and N split on potato tubes nitrate

In each N split method, the same letters are not statistically different (Duncan 5%)

کارایی مصرف نیتروژن شاخصی است که از دید اقتصادی حائز اهمیت است. به عبارت ساده این شاخص به ما کمک می‌کند تا متوجه شویم عملکرد غده با چه هزینه‌ای از نظر مصرف نیتروژن به‌دست‌آمده است. کارایی مصرف نیتروژن در تیمار مصرف توصیه‌شده نیتروژن (۹۰ کیلوگرم در هکتار) در روش تقسیط سه و چهار مرحله‌ای به‌ترتیب برابر ۰/۳۵ و ۰/۳۹ کیلوگرم غده به‌ازای هر واحد مصرف نیتروژن بود (شکل ۴). در هر دو روش تقسیط سه و چهار مرحله‌ای نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن در تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به یک‌سوم کاهش یافت. مصرف نیتروژن اضافی نه‌تنها موجب هدر رفت سرمایه کشاورزان می‌شود بلکه به دلیل کشت این گیاه در خاک‌های نسبتاً سبک احتمال ایجاد آلودگی آب‌های زیرزمینی نیز افزایش

مـی‌یابـد (Souza *et al.*, 2020). برخـی محققـین معتقدنـد گیـاه سیب‌زمینی به‌واسطه داشتن ریشه‌های سطحی قادر نیست نیتـروژن و مواد معدنی را از عمق خاک جذب کنـد و بنـابراین تـأمین ایـن مـواد به‌صورت تقسیط شده و متناسب با مرحله رشدی گیاه کارایی استـفاده از آن‌ها را به‌صورت چشم‌گیر افزایش می‌دهـد (Bachmann-Pfabe and Dehmer, 2020).



شکل ٤- تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و تقسیط نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن سیب‌زمینی

در هر روش تقسیط حروف مشابه تفاوت آماری ندارند (دانکن پنج درصد)

Figure 4- The effect of different levels of nitrogen and N split on N use efficiency

In each N split method, the same letters are not statistically different (Duncan 5%)

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد تقسیط نیتروژن زمانی یـک رویکـرد مدیریتی صحیح محسوب می‌شود که بر پایه مصرف مقـدار نیتـروژن توصیه‌شده باشد (در این پژوهش ۱۸۰ کیلـوگرم در هکتـار). اسـتفاده نیتروژن اضافی حتی به‌صورت تقسیط شده نـه‌تنهـا موجـب افـزایش عملکرد اقتصادی نشد بلکه در برخی از تیمارها (تقسیط سه مرحلـه‌ای ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) با افزایش نیترات غـده فراتـر از حـد مجاز همراه بود (۱۷۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن‌تـر غـده). در مقادیر مصرف نیتروژن بیش از توصیه کودی، در هر دو روش تقسیط نیتروژن، کارایی استفاده از کود کاهش یافت. به‌گونه‌ای کـه در تیمـار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمـار ۹۰ کیلـوگرم نیتروژن در هکتار کارایی مصرف کود به یک‌سوم رسید.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم مـی‌داننـد از مرکـز تحقیقـات و آمـوزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان به جهـت همکـاری و تـأمین اعتبار لازم جهت این پژوهش سپاسگزاری نمایند.

References

1. Ayyub, C. M., Wasim Haidar, M., Zulfiqar, F., Abideen, Z., and Wright, S. R. 2019. Potato tuber yield and quality in response to different nitrogen fertilizer application rates under two split doses in an irrigated sandy loam soil. Journal of Plant Nutrition 42: 1850-1860. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1648669.
2. Bachmann-Pfabe, S., and Dehmer, K. J. 2020. Evaluation of wild potato germplasm for tuber starch content and nitrogen utilization efficiency. Plants 9 (7): 833. https://doi.org/10.3390/plants9070833.
3. Bélanger, G., Walsh, J. R., Richards, J. E., Milburn, P. H., and Ziadi, N. 2001. Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different N fertilization rates with and without irrigation. American Journal of Potato Research 78: 109-117. https://doi.org/10.1007/BF02874766.
4. Bero, N. J., Ruark, M. D., and Lowery, B. 2014. Controlled-release fertilizer effect on potato and groundwater nitrogen in sandy soil. Agronomy Journal 106: 359-368. https://doi.org/10.2134/agronj2013.0331.

5. De la Morena, I., Guillen, A., and Del Moral, L. F. G .1994. Yield development in potatoes as influenced by cultivar and the timing and level of nitrogen fertilization. American Potato Journal 71: 165-173. https://doi.org/10.1007/BF02849051.
6. FAO (Food and Agriculture Organization). 2019. FAOSTAT, Retrieved January 15, 2018. Available at: http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx. Accessed 19 Agu. 2019.
7. Green, L. C. Wagner, D. A., Glogowski, J., Skipper, P. L., Wishnok, J. S., and Tannenbaum, S. R. 1982. Analysis of nitrate, nitrite, and [15N] nitrate in biological fluids. Analytical Biochemistry 126: 131-138. https://doi.org/10.1016/0003-2697(82)90118-X.
8. Jalali, A. H., and Mousapour Gorji, A. 2021. The use of "stress memory" to improve drought stress tolerance in potato. Iranian Journal of Field Crops Research 19: 61-71. (in Persian).
9. Jalali, A. H., and Bahrani, M. J. 2014. Effect of crop residue and nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency in corn (*Zea mays* L.) production. Applied Field Crop Research 102:197-204. (in Persian).
10. Jalali, A. H., Hassanpanah, D., and Mousapour Gorji, A. 2020. Environmental stresses and their management in potato production. Agricultural Research, Education and Extension Organization Seed and Plant Improvement Institute, 214pp. (in Persian).
11. Jamshidi, A. M., Ahmadi, A., and Darvishi, B. 2015. Yield and quality of potato seed and edible tubers in response to different phosphorus levels and nitrogen application times. Iranian Journal of Field Crop Science 45: 489-498. (in Persian).
12. Jin, X., Hao, N., Jiao, F., Yang, Y., Wang, D., Xu, C., and Zhai, R. 2014. The effect of nitrogen supply on potato yield, tuber size and pathogen resistance in *Solanum tuberosum* exposed to Phytophthora infestans. African Journal of Agricultural Research 9: 2657-2663. https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7550.
13. Hassanpanah, D., Kazemi, N., Mousapour Gorji, A., and Jalali, A. H. 2018. Comprehensive guide to modern potato farming. Seed and Plant Breeding Research Institute, Knowledge Network Office and Promotional Media. 322 pp.
14. Kuisma, P. 2002. Efficiency of split nitrogen fertilization with adjusted irrigation on potato. Agricultural and Food Science 11: 59-74. https://doi.org/10.23986/afsci.5713.
15. Muleta, H. D., and Aga, M. C. 2019. Role of nitrogen on potato production: a review. Journal of Plant Sciences 7: 36-42.
16. National Standard of Iran. 2013. Maximum levels for nitrate in agricultural product. Standard No. 16596. First edition 11 Pp.
17. Naumann, M., Koch, M., Thiel, H., Gransee, A., and Pawelzik, E. 2020. The importance of nutrient management for potato production part II: Plant nutrition and tuber quality. Potato Research 63: 97-119. https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2.
18. SAS Institute. 2016. SAS user's guide. SAS Inst., Cary, NC.
19. SCF (Scientific Committee on Food). 1997. Assessment of dietary intake of nitrates by the population in the European Union, as a consequence of the consumption of vegetables, in Reports on tasks for scientific cooperation: report of experts participating in Task 3.2.3, ed by European Commission, Brussels, p 34.
20. Souza, E. F., Soratto, R. P., Sandaña, P., Venterea, R. T., and Rosen, C. J. 2020. Split application of stabilized ammonium nitrate improved potato yield and nitrogen-use efficiency with reduced application rate in tropical sandy soils. Field Crops Research 254: 107847. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107847.
21. Venkatasalam, E. P., Bairwa, A., KL, D., Sudha, R., Mhatre, P. H., Govindakrishnan, P. M., and Singh, R. K. 2019. Effect of nitrogen sources on yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum*) cultivars. Indian Journal of Agricultural Sciences 89: 35-40.
22. Yadav, S. K., Singh, G. K., Jain, V. K., and Tiwari, A. 2017. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to different levels of nitrogen. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6: 2734-9.
23. Ysart, G., Miller, P., Barrett, G., Farrington, D., Lawrance, P., and Harrison, N. 1999. Dietary exposures to nitrate in the UK. Food Additives and Contaminants 16: 521-532. https://doi.org/10.1080/026520399283669.